

**АБРАЗИВНАЯ СТОЙКОСТЬ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА,  
СОДЕРЖАЩЕГО КАРБИДЫ ТИТАНА**

*А.И. Любич, канд. техн. наук, доцент;*

*Т.П. Говорун, канд. физ.-мат. наук, старший преподаватель;*

*А.С. Галагуз, студент;*

*В.В. Дудченко, студент,*

*Сумский государственный университет, г. Сумы*

*Разработанный наплавленный металл, имеющий мартенситную структуру с включениями карбидов титана, обеспечивает высокую износостойкость и может успешно применяться для наплавки металла деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания.*

**Ключевые слова:** *карбиды титана, мартенситная структура, высокая износостойкость, абразивное изнашивание.*

*Розроблений наплавлений метал, що має мартенситну структуру із включеннями карбідів титану, забезпечує високу зносостійкість і може успішно застосовуватися для наплавлення металу деталей, що працюють в умовах абразивного зношування.*

**Ключові слова:** *карбіди титану, мартенситна структура, висока зносостійкість, абразивне зношування.*

Из всех видов изнашивания деталей абразивное является наиболее часто встречающимся. При этом виде износа происходит чисто механическое отделение частиц. Разрушающими телами обычно являются минеральные высокотвердые частицы с неметаллическим типом межатомных связей, при наличии которых процессами адгезии и схватывания можно пренебречь. Абразивное действие среды возрастает с увеличением размера содержащихся в ней частиц, повышением процентного их содержания в общей массе, наличием частиц остроугольной формы с высокой твердостью [1-3]. Механизм абразивного изнашивания заключается в удалении материала из изнашиваемой поверхности либо в виде очень мелкой стружки, или фрагментов разрушенного материала, предварительно выдавленного по сторонам пластически деформированной царапины, либо в виде мелких кусочков, хрупко отделяющихся при однократном или многократном воздействии. При абразивном изнашивании скорость образования вторичных структур, возникающих при трении, превышает скорость их разрушения [4].

Чугун из всех износостойких материалов является более предпочтительным как с экономической точки зрения, так и с технологической. В связи с этим удельный объем деталей из чугуна, работающих в условиях различных видов изнашивания, занимает одно из первых мест. Известно, что обычные серые и высокопрочные чугуны имеют относительный износ ниже, чем среднеуглеродистая сталь [5]. Одним из эффективных путей увеличения стойкости чугуна является легирование различными элементами. Влияние легирующих элементов необходимо оценивать в связи с процессами структурообразования, протекающими при кристаллизации, и с превращениями в твердом состоянии при термической обработке. Структура и свойства чугуна в основном определяются скоростью охлаждения и химическим составом.

При разработке наплавочных материалов очень часто за основу принимают белый чугун. Путем введения легирующих элементов в наплавленный чугун придают ему такие свойства, которых требуют

условия эксплуатации. Для получения высокой стойкости к абразивному изнашиванию в наплавленный металл вводят хром, вольфрам, бор, никель, молибден, РЗМ и др. Однако введение этих элементов в составы сварочных материалов значительно повышает стоимость наплавочных работ. Разработку износостойкого наплавленного металла осуществляли с применением полного факторного эксперимента  $N = 2^3$ . В качестве основных переменных факторов были выбраны теоретически обоснованные углерод, титан и марганец. Разработанный нами состав порошковой проволоки для наплавки деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания, содержит, кроме углерода, титана и марганца, постоянное количество кремния и кальция [6]. Металлографические исследования наплавленного металла показали, что его структура состоит из мартенсита и до 20 % включений карбидов титана. Наплавленные порошковой проволокой образцы испытывали на стойкость к абразивному изнашиванию.

Изучению стойкости материалов при различных видах изнашивания посвящено ряд работ, где показана зависимость износостойкости сплавов от их структуры и твердости [7-9]. Представление об износостойкости материалов применительно к условиям эксплуатации детали можно получить только при испытаниях, в которых обеспечено протекание реального процесса изнашивания. Этого можно достигнуть в двух случаях: при точном воспроизведении всех внешних факторов, характеризующих работу данной детали, и при моделировании процесса изнашивания. Все испытания материалов на изнашивание сводятся к определению величины их износа [2]. Одним из наиболее часто применяемых методов определения износа деталей небольшой массы является взвешивание их до и после испытания [10]. Метод взвешивания нами был применен при определении абразивного износа наплавленных образцов. Испытания проводили согласно ГОСТ 23.206-79 «Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытаний материалов на износостойкость при трении о жестко закрепленные абразивные частицы» на разработанной установке, предназначенной для исследования изнашивания металлов при трении о грунт.

В наших исследованиях были приняты следующие параметры испытания:

размер образца, мм	7x7x25;
скорость вращения истирающей поверхности, рад/с	21,0;
скорость вращения образцов, рад/с	10,9;
давление образца на абразивную шкурку, МПа	0,049;
скорость изнашивания, м/с	2,6;
время испытания, с	120,0;
путь изнашивания, м	312,0;
кратность одного эксперимента	3,0;

В качестве абразивного материала применяли абразивную шкурку С2 14А 402НМА (ГОСТ 5009-82)

В качестве образца для сравнения был принят металл, наплавленный порошковой проволокой а.с. N686214 СССР, содержащий в своем составе иттрий, разработанной для наплавки деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания.

Пластины для наплавки размером 150x100x20 мм изготавливали из стали Ст 3. Наплавку выполняли на оптимальных режимах, откорректированных конкретно к данной проволоке. Все образцы вырезали с припуском 0,15 мм на сторону на горизонтально-фрезерном станке модели 6Р82Ш. Затем образцы шлифовали до размера 7x7x25 мм на плоскошлифовальном станке модели ЗГ71М. После изготовления и испытания образцы промывали и просушивали. В качестве промывочной

жидкости использовали технический ацетон (ГОСТ 2768-79). Разброс по потере массы составлял около 12-14 %.

При испытании в трехпозиционный держатель каждый раз устанавливали один эталонный образец и два исследуемых. Потерю массы образцами определяли путем взвешивания их до и после испытания на аналитических весах ВЛА-200М с точностью  $\pm 0.1$  мг. По результатам взвешивания определяли среднее арифметическое значение потери массы образцов. Согласно требованиям стандарта (ГОСТ 23.208-79) конечные результаты износостойкости  $K_{И}$  определяли по формуле

$$K_{И} = \bar{g}_{э} / \bar{g}_{И},$$

где

$$\bar{g}_{э} = \sum_{i=1}^n g_{эi} / n; \quad \bar{g}_{И} = \sum_{i=1}^m g_{Иi} / m;$$

$g_{эi}$ ,  $g_{Иi}$  - потеря массы эталонным и исследуемым образцами за одно испытание,  $z$ ;  $n$ ,  $m$  - соответственно количество испытанных и исследуемых образцов.

Поскольку при исследовании характера кривых развития достаточной является надежность  $P = 0,7$  [11], то, задавшись предельной ошибкой измерений, для каждого исследуемого материала испытания проводили трижды, что соответствовало  $n = 3$  и  $m = 6$ . В результате проведенных сравнительных испытаний установлено, что из всех образцов, подвергшихся испытаниям, наименьшую потерю массы имел образец, наплавленный разработанной нами порошковой проволокой. Относительная износостойкость этой наплавки превышает эталонную наплавленную сплавом Сормайт-1 в 1,4 раза.

Освоение разработанной порошковой проволоки и технологии наплавки в промышленности производили на различных предприятиях. На Сумском машиностроительном научно-производственном объединении наплавку производили в литейном и котельном цехах, а также на стружкодробильном участке. В литейном цехе наплавку выполняли на отвалы смесеприготовительных бегунов, отлитые из высокопрочного чугуна ВЧ-45 массой 18,5 кг по технологии, разработанной в лабораторных условиях. Скребки, изготовленные из стали Ст 3 массой 13,7 кг, наплавляли в 4 шва по всему периметру с двух сторон сварочным трактором. В котельно-заготовительном цехе наплавку выполняли на деталях дробеструйной установки, а на участке дробления стружки - на кулаках, изготовленных из Ст 3. Режим наплавки: сила сварочного тока - 250 А, напряжение на дуге - 32 В, полярность - прямая. После наплавки отвалы и скребки устанавливали на бегуны и определяли длительность их работы. На бегунах во время испытаний приготавливали облицовочные, наполнительные и стержневые смеси. Путем сравнения длительности работы наплавленных деталей и применяемых ранее было установлено, что долговечность деталей, наплавленных разработанной нами порошковой проволокой и технологией наплавки, в 2-3 раза больше, чем применяемых из стали 45. Наплавку деталей дробеструйной установки лопаток, импеллеров и колес выполняли в котельном цехе объединения по технологии, ранее разработанной в лаборатории. Детали, установленные на дробеструйную установку после их наплавки, показали, что стойкость их против износа в 1,3-1,6 раза больше ранее применяемых, изготовленных из сложнoleгированного износостойкого чугуна. Наплавку на кулаки массой 32 кг, изготовленные из Ст 20 стружкодробильной установки, выполняли путем послойной наплавки на оптимальном режиме. Оборудование применялось то же, что и при наплавке скребков смесеприготовительного

оборудования. Наплавленные кулаки испытывали на стружкодробильной установке. Стойкость наплавленных кулаков против изнашивания сравнивали с ранее разработанными кулаками, наплавленными сплавом Сормайт-1. В результате сравнения установлено, что кулаки, наплавленные разработанной проволокой, имеют стойкость к изнашиванию в 1,4 раза больше, чем кулаки, наплавленные сплавом Сормайт-1.

Разработанный наплавленный металл, имеющий мартенситную структуру с включениями карбидов титана, обеспечивает высокую износостойкость и может успешно применяться для наплавки деталей, работающих в различных условиях абразивного изнашивания.

## ВЫВОДЫ

Разработанная порошковая проволока, содержащая в своем составе углерод, титан, кремний, марганец и кальций, обеспечивает образование наплавленного металла с мартенситной структурой и включениями в нее до 20 % карбидов титана. Выполненные лабораторные работы по определению относительной стойкости этой наплавки к абразивному изнашиванию показали, что она по сравнению с наплавленным металлом порошковой проволокой, содержащей иттрий, превышает в 1,3 раза, а по сравнению со сплавом Сормайт-1 - в 1,4 раза. Проверкой наплавленного металла на стойкость к абразивному изнашиванию в производственных условиях установлено, что по сравнению с применяемыми металлами он превышает их износостойкость в 1,3-2,5 раза. Выполненная работа по испытанию разработанного наплавленного металла показала, что он обеспечивает высокую износостойкость и может успешно применяться для наплавки деталей, работающих в различных условиях абразивного изнашивания.

## SUMMARY

### ABRASION FIRMNESS RESISTANCE OF WELD METAL CONTAINING TITANIUM CARBIDE

*A.J. Ljubyh, T.P. Hovorun, A.S. Halaguz, V.V. Dudchenko,  
Sumy State University, Sumy*

*The article deals with the developed welding metal with martensite structure. The inclusions of carbides of titanium provide high wearability and can successfully be applied for welding of details working in conditions of abrasion.*

**Key words:** carbides of titanium, martensite structure, high wearability, abrasion.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тенненбаум М.М. Сопrotивление абразивному изнашиванию / М.М. Тенненбаум. - М.: Машиностроение, 1976. - 271 с.
2. Кащев В.Н. Абразивное разрушение твердых тел / В.Н. Кащев. - М.: Наука, 1970. - 248 с.
3. Лимончиков В.Д. Моделирование абразивности грунтов при скоростном скольжении / В.Д. Лимончиков, Л.В. Чичивадзе // Тепловая динамика и моделирование внешнего трения. Сб. науч. тр. - М.: Наука, 1975. - С. 92-96.
4. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание / М.М. Хрущев, М.А. Бабичев. - М.: Наука, 1970. - 252 с.
5. Гиршович Н.Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках / Н.Г. Гиршович. - М.; Л.: Машиностроение, 1996. - 252 с.
6. А.с. 1769480 СССР, МКИ В 23К 35/368. Порошковая проволока для износостойкой наплавки / А.И. Любич, С.А. Любич, В.А. Пчелинцев и др. (СССР). - N4834712/18; Заявлено 18.04.90; Не публ.
7. Кириевский В.А. Влияние легирующих элементов на абразивную стойкость хромистых сплавов / В.А. Кириевский, Л.Г. Смолякова, Т.К. Изюмова // Литейные износостойкие материалы. - Киев, 1978. - С.46-49.
8. Толстов И.А. Износостойкие наплавочные материалы и высокопроизводительные методы их обработки / И.А. Толстов, М.Н. Семиколенных, Л.В. Баскаков и др. - М.:

- Машиностроение, 1992. - 220 с.
9. Коротеев В.В. Исследование износостойкости некоторых материалов деталей строймашин // Научные труды. – Гатчина, 1977. - Вып.17. - С.154-158.
  10. Добровольский А.Г. Абразивная износостойкость материалов / А.Г. Добровольский, П.И. Кошеленко. – К.: Техника, 1989. - 128 с.
  11. Механические свойства конструкционных материалов при сложном напряженном состоянии: справочник/ А.А. Лебедев, Б.И. Ковальчук, Ф.Ф. Гигиняк и др. – К.: Наукова думка, 2003. - 535 с.

*Поступила в редакцию 9 декабря 2010 г.*